

組立品の機構解析における接触拘束の伝播と実効フィーチャの伝播

北海道大学大学院工学研究科 ○徳永仁史 田中文基 岸浪建史

要 旨

著者らは、干渉を考慮した機構解析を実現する為に、配位空間における接触拘束表現に基づく組立モデルを提案してきた。しかし、部品数の増加と共に、組立品を表現する拘束数が増加し、運動を求めることが困難になる。そこで、本報では、拘束数を削減する為に、接触するフィーチャの複数のペアの正味の働きを表現する実効フィーチャに基づいてその伝播則を提案する。また、その正当性を配位空間において確認する。

1. はじめに

組立品の機構解析において、組立品を表現する拘束数の増加と共に、その運動を導出することが困難になる。そのため、拘束数削減のための幾つかの手法が提案されてきた[1][2]。しかしながら、これらの手法においては、組立品として考慮すべき拘束とその組合せが不足している。そこで、本報は、Clement[1]に基づいて、接触拘束及び実効フィーチャの伝播則を提案すると共に、その正当性を配位空間において確認することを目的とする。

2. 拘束数削減の基本的概念

組立品における部品の相対運動は、部品間の接触拘束と拘束間関係により決定される[3]。組立品において、部品(A_i)間の接触拘束(C_i)は、図1(a)に示すように並列に接続する場合と、図1(b)に示すように直列に接続する場合がある。このとき、その結果得られる拘束(C₁ ∩ C₂ または C₁ ∘ C₂)を正味の働きをする実効的なフィーチャ(VF)間の接触拘束(C₃)に置き換えることができるならば、拘束数を削減することができる。本研究では、このようなフィーチャを実効フィーチャと呼び[4]、複数の接触拘束を一つの接触拘束で置き換える過程を伝播と呼ぶ。ここで、接触拘束のクラスを実効フィーチャのタイプとすると、実効フィーチャも接触拘束の伝播に従って、同様に伝播していくものと考えられる。そのような伝播則を求めるために、Clement他[1]は、組立品によく現れる七つの接触拘束(E, T, R,

H, C, G, S)のクラスについて、表1の左側に示すようにそれらが並列に接続する場合の伝播則を提案した。また、Thomas他[2]は、並列と直列の両方の伝播則について表1のハッチング部分を提案した。本研究では、上述の七つの接触拘束及び実効フィーチャの伝播を考慮するため、Clement他[1]に基づいて、それらの伝播則を表1に示すように拡張した。以下では、この伝播則の正当性を配位空間において確認する。

3. 配位空間における接触拘束表現

図2に示すように、部品のフィーチャ間(VF₁とVF'₁, VF₂とVF'₂)の接触拘束(C₁, C₂)は、その拘束を満たすC-patchと呼ばれる配位空間における領域(CP₁, CP₂)により表現できる。また、複数の接触拘束を同時に満たす領域は、それぞれの接触拘束を満たす配位空間における領域の積集合(CP₃)として表現できる[3]。すな

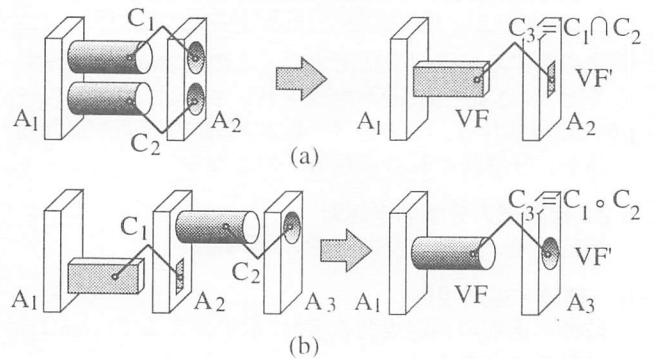


図1 接触拘束及び実効フィーチャの伝播

表1 接触拘束及び実効フィーチャの伝播則

拘束のクラス	自由度		並列 (A ₁ →A ₂)							直列 (A ₁ →A ₃)						
	並進	回転	E	T	R	H	C	G	S	E	T	R	H	C	G	S
E general	0	0	E	E	E	E	E	E	E	E	T	R	H	C	G	S
T prismatic	1	0		// → T ow → E	E	E	// → T ow → E	⊥ → T ow → E	E		// → T ow → T	// → C ow → T	// → C ow → T	// → C ow → T	⊥ → G ow → T	T ∘ S
R of revolution	0	1			= → R ow → E	E	= → R ow → E	// → R ow → E	∈ → R ow → E			= → R ow → R	= → C ow → R	= → C ow → R	// → G ow → R	∈ → S ow → R
H helical	1	1				= _p → H ow → E	= → H ow → E	E	E				= _p → H ow → H	= → C ow → H	// → T ∘ G ow → H	∈ → T ∘ S ow → H
C cylindrical	1	1					= → C ow → E	// → R ow → E	∈ → R ow → E				= → C ow → C	// → T ∘ G ow → C	∈ → T ∘ S ow → C	
G planar	2	1						// → G ow → T	R						// → G ow → G	G ∘ S
S spherical	0	3														= _p → S ow → S

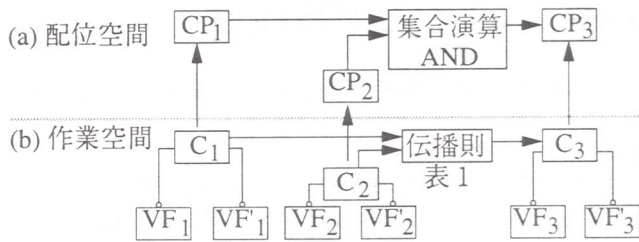


図2 配位空間における集合演算と伝播則

表2 接触拘束のクラスと運動の幾何

拘束のクラス	部品の運動の幾何		拘束のクラス	部品の運動の幾何	
	並進	回転		並進	回転
E general			C cylindrical		
T prismatic			G planar		
R of revolution			S spherical		
H helical					

わち、部品 i と j 、 k と l のフィーチャ間の接触拘束を表現する C-patch は、それぞれ式(1)(2)で表現される。

$$CP_1 = \{q \in C \mid q_j = X_1(p_1, q_i), p_1 \in S_1\} \quad (1)$$

$$CP_2 = \{q \in C \mid q_l = X_2(p_2, q_k), p_2 \in S_2\} \quad (2)$$

ここで、 q_i, q_j, q_k, q_l はそれぞれ部品 A_i, A_j, A_k, A_l の作業空間における位置と姿勢とを表現する配位、 p_i と S_i は接触拘束を表現するパラメータとその集合、 X_i はパラメータベクトルと基準となる部品の配位から、ターゲットとなる部品の配位への変換関数である。また、 q と C は全ての部品集合に対する配位と配位空間である。

並列拘束の場合 ($j=l$ かつ $i=k$)、導出される C-patch (CP_3) は、式(3)となる。

$$CP_3 = \{q \in C \mid q_j = X_1(p_1, q_i) = X_2(p_2, q_i), p_1 \in S_1, p_2 \in S_2\} \quad (3)$$

直列拘束の場合 ($j=k$)、C-patch は式(4)となる。

$$CP_3 = \{q \in C \mid q_l = X_2(p_2, X_1(p_1, q_i)), p_1 \in S_1, p_2 \in S_2\} \quad (4)$$

4. 接触拘束及び実効フィーチャの伝播則の検証

C-patch は、ターゲットとなる部品の配位空間の部分空間(並進部分空間、回転部分空間など)において、運動を表現する特徴的な幾何(運動の幾何)として表現される[4]。表2は、前述した七つの接触拘束の運動の幾何を示している。表1の正当性は、図2(a)に示すように導出されたC-patch (CP_3)が、図2(b)に示すように伝播則によって導出される接触拘束のクラスの運動の幾何を持っていることを調べるにより、確認でき

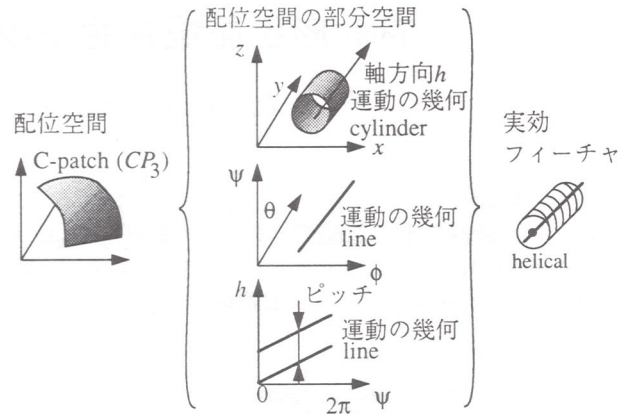


図3 C-patch と実効フィーチャ

る。例えば、伝播則により導出される実効フィーチャ間 (VF_3 と VF'_3) の接触拘束 (C_3) が helical である場合、図3に示すように、導出されたC-patchの運動の幾何が、並進部分空間では円筒、回転部分空間では直線、軸方向の並進と軸回りの回転の部分空間では、直線であることを調べる。

また、表1において導出される実効フィーチャ間の接触拘束が、接触拘束の合成 (\circ) により表現されている箇所については、上記の結果を利用することにより証明できる。例えば、C と G の直列拘束の伝播則は、円筒の軸と平面の法線が平行な場合、式(5)で示される。

$$C \circ G = T \circ R \circ G = T \circ G \quad (5)$$

この証明には、次の伝播則を使用している。

$$C = T \circ R \quad (\text{軸が平行の時})$$

$$G = R \circ G \quad (\text{軸と法線が平行の時})$$

5. おわりに

本研究では、組立品を表現する拘束数を削減するために以下のことを行った。

- (1)七つの接触拘束のクラスについて、接触拘束及び実効フィーチャの伝播則を提案した。
- (2)その正当性を配位空間において確認した。

参考文献

- [1] A. Clement 他: Theory and Practice of 3-D Tolerancing for Assembly, Proc. CIRP Int. Working Semi. Computer-Aided Tolerancing, (1991) 25
- [2] F. Thomas 他: A Group-Theoretic Approach to the Computation of Symbolic Part Relations, IEEE Jour. Robotics and Automation, 4, 6, (1988) 622
- [3] 徳永他: 配位空間による運動拘束表現を用いた組立品の表現, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1996) 425
- [4] 徳永他: 配位空間におけるフィーチャ間の接触拘束表現と TTRS, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1997) 901